

PSO 2008

**Projekt 10115
Fuldskala Demonstration af
Seriedrift**

Lemvig Biogas / BWSC / DTU

**Slutrapport
1. November 2010**

1. November 2010
Lars Kristensen/LB, Red. Lars Ellegaard/BWSC

Indholdsfortegnelse:

1.	INDLEDNING/RESUMÉ	3
1.1	Kort resumé af projektgrundlag/anlægsombygning	3
1.2	Kort oversigt over tidsmæssigt forløb	3
1.3	Resumé af procesmæssige resultater	5
2.	SUPPLERENDE DISKUSSION AF RESULTATER	9

Bilag:

1.	Præsentation, illustrationer, PSO seminar Erritsø Aug. 2010	27p
2.	Oversigt over reaktor ind- og udkoblinger samt konfiguration	1p

1. INDLEDNING/RESUMÉ

Nærværende rapport udgør slutrapportering vedr. PSO 2008 projekt 10115 "Fuldskala Demonstration af Seriedrift" (på Lemvig Biogasanlæg), dækkende perioden fra projekt bevilling/opstart (ca. 1. Marts 2008) frem til udgangen af 2009, inkl. efterfølgende analysearbejde og databearbejdning/analyse i løbet af 2010.

Overordnet er projektet forløbet nogenlunde planmæssigt, dog med en større forsinkelse på mere end et år grundet uforudsete akutte reparationsarbejder på Lemvig Biogasanlæg som forsinkede gennemførelse af visse driftskombinationer. Der blev dog med udgangen af 2008 udarbejdet en delrapport med resultater fra den første driftsperiode, som grundlæggende er blevet bekræftet og detaljere med de senere opnåede resultater.

Resultater er også kort præsenteret på PSO seminarer hhv. August 2009 og August 2010 (se bl.a. bilag 1, indeholdende et antal figurer og illustrationer fra seneste seminar, som der vil blive henvist til i rapporten).

1.1 Kort resumé af projektgrundlag/anlægsombygning

Nærværende projekt er gennemført i tilknytning til en større renovering og ombygning af Lemvig Biogasanlæg i foråret 2008, efter 16 års kontinuerlig drift siden opstart i 1992.

Ombygningen indebar bl.a. tilføjelse af en ny stor reaktor, som med ca. 7,000 m³ væskevolumen ca. har fordoblet anlæggets samlede udrådningssvolumen.

I tilknytning hertil er pumpe og rørsystemer omlagt mhp. etablering af et serielt udrådningsskoncept, hvor én eller flere af de oprindelige rådnetanke er koblet som et serielt efterudrådningstrin.

Det er seriekoblingen som har været hovedemne for nærværende PSO projekt, og for at muliggøre test af forskellige koblingsformer er anlægget ved ombygning tilføjet en række ekstra forbindelser og ventiler der har muliggjort at køre anlægget med forskellige volumenfordelinger, frem for blot én fast kobling.

Yderligere detaljer vedrørende renoveringen og omlægningen til serielt udrådning kan ses i bilag 1.

1.2 Kort oversigt over tidsmæssigt forløb

Driftsmæssigt forløb

Lemvig Biogasanlæg blev udvidet/renoveret og idriftsat planmæssigt, herunder forberedelse af installationer relateret til PSO projekt, i løbet af første halvdel af 2008.

Prøveindsamling blev indledt fra April 2008 og udgør frem til ultimo Juni 2008 referencesituation for anlæg før udvidelse og omlægning til seriedrift **(fremover betegnet driftsperiode 0)**.

I denne periode kørte anlægget som en traditionel ét-trins proces med et samlet effektivt rådnetanksvolumen på ca. 6000 m³ opdelt på 3 rådnetanke (RT1-RT3).

Drift blev planmæssigt omlagt til seriedrift i perioden 12. - 28. Juni 2008. Perioden herefter, hvor prøveindsamling fortsattes, udgør sammenligningsperiode med forskellige seriekoblinger.

Den første seriekobling, som også er den kobling der fra udgangen af 2009 er anvendt som fremtidig driftsform, bestod af seriekobling med et samlet primært rådnetanksvolumen på ca. 11.000 m³ (ny RT4, RT1 & RT2) og et efterudrådningssvolumen (RT3) på ca. 2.000 m³ (dvs. volumenfordeling 85:15 %). Denne proceskobling **(fremover betegnet driftsperiode 1)** bestod frem til 1. September 2008.

Herefter viste det sig akut nødvendigt at foretage en reparation af de gamle rådnetanke, som oprindeligt var forudsat udskudt til 2. kvartal 2009, mhp. færdiggørelse af seriedrift forsøg forinden. De 3 gamle rådnetanke blev udtaget én efter én og først afsluttet med udgangen af Maj 2009. I denne forholdsvis lange periode har anlægget kørt med en seriekobling bestående af ca. 9.000 m³ primærvolumen og 2.000 m³ serielt volumen (82:18 %, **betegnet driftsperiode 2**). De forskellige tanke har ganske vist været indkoblet på skift i forskellige positioner, men kun med kortvarige forstyrrelser ifm. overflytning af aktiv fyldning mellem ind-/udgående tanke.

Efter endt reparation af de gamle udrådningstanke blev der af forsigtighedsgrunde vendt tilbage til den oprindelige seriekobling med volumenfordeling 11.000 + 2.000 m³.

Denne periode betegnes driftsperiode 3, og er koblingsmæssigt en gentagelse af driftsperiode 1.

Endelig blev den sidste planlagte kobling, **driftsperiode 4**, etableret i perioden 6. Oktober til 31. December 2009. I denne periode var to af de gamle rådnetanke koblet i serie, dvs. med et primærvolumen på ca. 9.000 m³ og et serielt volumen på ca. 4.000 m³ (70:30% volumenfordeling)-

Herefter blev prøvetagning indstillet og anlæg vendte tilbage til en driftsform svarende periode 1 og 3.

En oversigt over ind og udkoblinger af tanke, samt indkobling af disse kan ses i bilag 2.

Analysemæssigt forløb

Prøver har under hele forløbet frem til ultimo Dec. 2009 været udtaget, præpareret og nedfrosset, og efterfølgende sendt i portioner til DTU for nærmere analyse.

Derudover er der i perioden løbende blevet foretaget analyser og registreringer på anlægget samt på eksterne laboratorier.

Prøve analyser og tests er foretaget på DTU i to omgange. Prøver fra start til ca. 1. September 2008 blev analyseret og testet i slutningen af 2008 og foreløbigt analyseret primo 2009.

Resterende prøver frem til 1. Dec. 2009 blev analyseret og testet i løbet af første halvdel af 2010, med efterfølgende databearbejdning/analyse frem til nærværende slutrapportering.

Øvrigt

Som en del af PSO projektet indgik etablering af en hjemmeside (www.Lemvigbiogas.com), hvor bl.a. on-line produktionsresultater stilles til rådighed.

Hjemmesiden "gik i luften" ca. 1. Juli 2008 i en foreløbig udgave, og er løbende blevet udbygget og forbedret i projektperioden.

1.3 Resumé af procesmæssige resultater

Over den samlede forsøgsperiode er der (som det ofte er tilfældet på driftsanlæg) sket en del forskydninger i driftsforhold, primært fordeling mellem gylle og andre biomasser, samt N belastning og gasproduktionsniveau, udover en forholdsvis stor forøgelse af den samlede opholdstid ifm. idriftsættelse af den nye rådnetank, som ca. har fordoblet anlæggets samlede udrådningsskapacitet.

Dette har selvfølgelig medført forskydninger i procesforhold og parametre, som vanskeliggør en direkte sammenligning af de forskellige driftsperioder. På trods af dette, er det dog ved sammenligning af proces udrådningseffektivitet og relative ændringer i andre procesparametre ifm. skift i anlægskoblinger muligt at iagttage nogle karakteristiske ændringer som kan tilskrives opholdstid og seriekobling, og vurdere den kvantitative effekt.

Omsætningseffektivitet

Med henblik på evaluering af effekten af anlægsudvidelse og omlægning er omsætningseffektiviteten den mest robuste parameter at vurdere.

Omsætningseffektiviteten er defineret som opnået metanproduktion som % af tilført omsætteligt metanpotentiale.

Da tilført omsætteligt metanpotentiale er vanskeligt at bestemme direkte, grundet daglige variationer, er dette bestemt indirekte som opnået metanproduktion målt på anlægget plus målt restpotentiale i effluenter ved langvarig batchudrådning på DTU. Herved elimineres en stor del af den usikkerhed daglige variationer i indpumpning medfører, da effluenter via de store rådnetanksvolumener er mere tidsstabile og repræsentative som et gennemsnit over en længere periode. Derudover er udrådnet materiale også

mere homogent og findelt, hvilket minimerer usikkerheder relateret til udtagning og efterfølgende håndtering/forberedelse af repræsentative prøver.

Omsætningseffektiviteten kan endvidere bestemmes for deltrin ved måling af restpotentiale mellem de enkelte procestrin.

En oversigt over gennemsnitlig omsætningseffektivitet bestemt for de 5 forskellige driftsperioder er vist nedenstående. Yderligere detaljer kan ses i bilag 1, slide 21-25.

Period average values, Residual CH ₄ , m ³ -CH ₄ /ton						Remarks
Period no. Config.	0 Parr.	1 Seriel 3+1	2 Seriel 2+1	3 Seriel 3+1	4 Seriel 2+2	
Plant yield	23.9	23.3	26.3	24.6	24.3	Assuming 65% CH ₄ Yield + final loss = 100%
Potential	27.7	25.4	29.0	27.2	25.6	
Primary	82.0%	88.4%	80.3%	81.9%	71.8%	Seriel+Sanitation stage
Post primary	25.2%	27.4%	51.8%	47.9%	81.8%	
Seriel	-	-	-	35.3%	66.8%	
Sanit. stage	25.2%	-	-	19.4%	45.3%	
Total	86.5%	91.6%	90.5%	90.5%	94.9%	

Tabel 1 Omsætningseffektivitet for driftsperioder

Som det fremgår af tabel 1, præsterede anlægget før udvidelse/driftsomlægning (periode 0) en samlet omsætningseffektivitet på 86,5%.

Det primære udrådningstrin (med opholdstid ca. 13 døgn) stod for 82,0%, med et resttab fra dette trin på 18,0%.

Det efterfølgende hygiejniseringsstrin (med batch holdetid ca. 8 timer) stod for de resterende 4,5%, eller en selvstændig omsætningseffektivitet på 25,2% af resttabet fra det primære trin som det er angivet i tabel.

I de efterfølgende perioder (periode 1-4), med forskellig grad af seriekobling og en del længere total opholdstid, er gennemsnitligt opnået en omsætningseffektivitet på 91,9%.

Forbedringen, gennemsnitligt 5,4%, svarer til at den specifikke metanproduktion er steget 6,2% (91,9 ift. 86,5%) og resttab fra anlæg reduceret 40% (fra 13,5% til 8,1%).

Dette resultat er både økonomisk og miljømæssigt signifikant.

En produktionsforøgelse på 6,2% uden nævneværdige ekstra driftsomkostninger har stor betydning for et anlægs økonomiske driftsresultat, da dette fremkommer som en forholdsvis lille difference mellem indtægter og forholdsvis store omkostninger.

Med hensyn til potentiale for efterfølgende emission af den potente drivhusgas metan ifm. lagring, håndtering og udbringning af den udrådne gylle taler en reduktion i restpotentiale på 40% for sig selv.

Seriel effektivitet

Ovenstående forbedring i omsætningseffektivitet er en følge af både længere total opholdstid og seriekobling. Efter ombygning, som omtrent har fordoblet

udrådningsvolumenet, er den totale gennemsnitlige hydrauliske opholdstid steget fra ca. 13 døgn til 26 døgn, idet tilført biomasse mængde stort set har været uændret i perioden. Se bilag 1, slide 12.

Det er, set i forhold til andre bestående fællesanlæg og formentlig også kommende anlæg, en lidt usædvanlig lang opholdstid. Derfor er det interessant for kommende anlæg at vurdere hvor stor en del af forbedringen der kan tilskrives seriekoblingen alene, og hvilken volumenfordeling der er den optimale.

Desværre er det grundet tidsmæssige variationer i driftsparametre og en vis usikkerhed i analysedata ikke helt enkelt præcist at bestemme effektiviteten af det serielle trin alene.

At dømme efter den opgjorte omsætningseffektivitet for det primære trin, er denne ikke gennemsnitligt steget nævneværdigt efter ombygning, bortset fra kort efter omlægning. Det kunne indikere at det serielle trin hovedsageligt er ansvarlig for det observerede øgede specifikke udbytte på ca. 6,2%.

Det er dog ikke umiddelbart helt logisk at omsætningseffektiviteten for det primære trin synes uændret, uagtet at opholdstiden i dette også er øget betydende, fra ca. 13 døgn til 19,5 - 21 døgn afhængigt af periode. Dette skyldes sandsynligvis at ammonium belastningen generelt er steget i løbet af 2008 og 2009, særligt efter periode 1, hvilket har stresset det primære trin og modvirket den længere opholdstid i dette. Se bilag 1, slide 15 & 16. Havde dette ikke været tilfældet, ville restpotentiale i effluent fra det primære trin nok have været lavere, og udbyttet fra det serielle trin en smule mindre end aktuelt registreret.

Omvendt ville et nyprojekteret termofilt anlæg næppe have så lang opholdstid i det primære trin, og dermed måske netop et vist resttab fra det primære trin at arbejde med for det serielle trin.

På denne baggrund vurderes det at det serielle trin medfører en merproduktion/effektivitetsforbedring på ca. 5%, samt en reduktion i restpotentiale for den udrådnede gylle i området 30-50% afhængigt af den primære proces' grundlæggende omsætningseffektivitet som afhænger af en række forhold.

Denne vurdering understøttes tillige at tidligere udførte modelteoretiske overvejelser, hvor effekten af seriekobling er vurderet på basis af ændret opholdstidsfordeling for uopløst materiale ved seriekobling og karakteristiske nedbrydningsrater for dette (ref. bilag 1 slide 27).

Det serielle trins positive effekt på omsætningseffektiviteten understøttes endvidere kvalitativt af VFA analyser, hvor der konsekvent ses en markant reduktion i VFA niveau hen over det serielle trin (ref. bilag 1 slide 18-21).

Endelig indikerer måling af gasproduktion fra det serielle trin at der fra dette er opnået en gasproduktion på ca. 5% af anlæggets totalproduktion.

Det viste sig ganske vist vanskeligt at måle denne gasproduktion pålideligt da rør- og gasmålerstørrelser ikke var ideelle til formålet (primært fordi de ved evt. omkobling af tanke skulle dække et meget stort område). Generelt er med en bestående rådnetank koblet som seriel tank målt ca. 50 m³/h, men med målesignaludfald i perioder hvor der pumpes fra tank og flow falder under målers nedre funktionsgrænse.

I visse delperioder er der dog målt ca. 75 m³/h (svarende til ca. 5% af anlægstotal på ca. 1500 m³/h), ligesom der enkelte gange ved trykoprbygningstest er bestemt en gasproduktion på ca. dette niveau.

Ovenstående vurdering skal ses på baggrund af anlægs- og driftsforhold herskende på Lemvig Biogasanlæg. Effekten af en seriel kobling må forventes at afhænge af en række forhold som vil variere fra anlæg til anlæg.

Jo større og mere effektivt det primære trin er, jo lavere relativt udbytte må forventes fra et serielt efterudrødningstrin. En letomsættelig biomasse, overvejende bestående af opløst eller hurtigt hydrolyseret biomasse og uden væsentlige hæmmende komponenter (såsom N/ammonium) må også forventes at give et lavere relativt udbytte i serielt trin.

Omvendt må det forventes at en mere tungomsættelig og uopløst biomasse vil øge fordelene ved at anvende en seriel kobling. Det kan måske have særlig betydning for nye anlæg i Danmark, som forventes i højere grad at skulle basere sin produktion på gylle og tilsætning af energiafgrøder med et vist indhold af fibre og uopløst strukturelt materiale.

Det har ikke været muligt med pålidelighed at afgøre hvilken fordeling af volumen i seriekobling der er mest optimal.

Det ser ganske vist ud som den største totaleffektivitet er opnået i periode 4, men på baggrund af en temmelig ringe effektivitet for det primære trin, og nogle usædvanligt høje effektiviteter for de efterfølgende trin. Dette formodes at skyldes forstyrrelser i biomassen og tilfældig analyseusikkerhed for denne periode som var relativt kort.

Teoretisk set skulle volumenfordelingen ikke spille den store rolle, da det er serie koblingen mere end volumenfordelingen der afgørende ændrer på aldersprofil for uopløst materiale i gunstig retning.

Lemvig biogasanlæg har da også efterfølgende valgt en driftsform svarende til periode 1 og 3 for den fremtidige drift, da denne kobling i kraft af et stort primært trin giver størst robusthed overfor driftsforstyrrelser.

Supplerende analyse og diskussion af resultater er angivet efterfølgende i afsnit 2, ligesom der henvises til bilag 1, som udover detailresultater indeholder noter og bemærkninger.

2. SUPPLERENDE DISKUSSION AF RESULTATER

Driftsforhold og variationer

Forsøgsperioden har strukket sig fra foråret 2008 til ca. 1. December 2009, med fuldt etableret seriel drift fra d. 1. Juli 2008.

I løbet af perioden er der kørt med en nogenlunde konstant biomassetilførsel, og dermed med et kraftig forøgelse af den totale opholdstid efter driftsoplægning. Den totale gasproduktion har været noget højere efter driftsoplægning, primært som følge af forøget omsætningseffektivitet.

Denne tilsyneladende stabilitet dækker dog over at der i perioden er sket en gradvis reduktion i gylle tilførsler og en tilsvarende forøgelse af andre organiske restprodukter. Dette har betydet at N belastningen, og dermed $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$ koncentrationen gradvis er steget over forløbet, særligt efter den første seriedriftperiode (periode 1). Se bilag 1 slide 17.

Denne forskydning formodes at være den væsentligste årsag til observerede variationer i VFA og effektivitet, som vanskeliggør direkte sammenligning mellem de enkelte delperioder.

Det har dog vist sig at anlægget efter ombygning nu er mere N tolerant end hidtil, hvor det gentagne gange har vist sig at et $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$ højere end ca. 3.3 g/l medfører procesforstyrrelser.

Det har samtidig vist sig at VFA niveau efter serielt trin konsekvent er lavt på trods af fluktuationer i det primære udrådningstrin. Selv om det nok generelt er den forøgede opholdstid der primært har forøget N tolerance tærsklen medvirker det serielle trin til at opretholde en høj omsætningseffektivitet under delvis ammonium hæmning.

Den forøgede N tolerance og stabile proceseffektivitet er af stor betydning for Lemvig Biogasanlæg's fremtidige drift, idet det giver større manøvrerum for optimering af biomassetilførsler.

N - mineralisering

Udover at N niveau er steget hen over forsøgsperioden, observeres en mindre stigning i $\text{NH}_4\text{-N}/\text{N-tot}$ forholdet i udrådnede materiale.

Før driftsoplægning målt et forhold på knap 60%, stigende til knap 65% som gennemsnit efter driftsoplægning.

Denne observation understøtter selvstændigt (udover restpotentiale og VFA) at VS nedbrydningseffektiviteten er steget.

Denne forøgelse i N mineralisering har i sig selv en positiv betydning ift. den efterfølgende udnyttelse/værdi af den udrådnede gylle samt mindre potentiale for udvaskning af N til omgivende vandmiljø.

Hygiejnisering

Da nedbrydning af sværtomsættelig uopløst biomasse er analog til henfald af patogener, har omlægning til seriel drift også haft betydning for anlæggets hygiejniseringseffektivitet.

Lidt ved en tilfældighed har der i løbet af forsøgsperioden været dialog med de veterinære myndigheder omkring hygiejniseringsstandard for animalske biprodukter, og det er i den forbindelse lykkedes at dokumentere og få godkendt den aktuelle kombination af temperaturer, opholdstider og seriekobling som analog til 70 °C x 1 time, svarende til krav for behandling af kategori 3 affald.

Øvrigt

Udover ovenstående supplerende betragtninger og resume baseret på periodegennemsnit, er der udført et meget stort antal analyser som fremgår af bilag 1. Heraf fremgår variationer og yderligere detaljer mht. bl.a. VFA fordeling som ikke har været forsøgt fortolket i detaljen.